

(4) Rigorous Treatment of the Damping Theory for Coupled Systems
in contact with Reservoirs —Parametric Amplifier and Laser—

有 光 敏 彦 (東 大・理)

柴 田 文 明 (お茶大・理)

高 橋 慶 紀 (物 性 研)

微視的なリウビュ方程式から出発して、注目している変数以外を消去し、注目している系のマスター方程式を得る有力な方法である減衰 (ダンピング) 理論は、従来、次のような簡単化のもとに種々の物理系に応用されている。一般に物理系は、各々が熱浴に接触し、互いに相互作用している複数の部分系の集まりでその全体系が構成されている。熱浴の変数を消去してこの全体系の減衰演算子を求めるわけであるが、その際まず部分系間の相互作用を無視し、1つの部分系とそれに接触している熱浴だけの簡単な系に対して減衰理論を用いるのである。そして部分系間の相互作用は、マスター方程式のコヒーレントな運動を表わす項として導入する。

式でかくと ($\hbar = 1$)

$$\dot{\rho}_S(t) = -\{\mathcal{H}_0^\times + \mathcal{H}_1^\times + i\pi\} \rho_S(t), \quad (1)$$

ここに $\rho_S(t)$ は注目している系 (部分系全体) の密度演算子を表わし、

$$\mathcal{H}_0 = \sum_j \mathcal{H}_0^j, \quad \pi = \sum_j \pi^j, \quad (2)$$

であり、 $\mathcal{H}_0^j$ 及び π^j はそれぞれ j 番目の部分系のハミルトニアンとその減衰演算子を表わす。また $\mathcal{H}_1$ は部分系間の相互作用を表わすハミルトニアンであり、

$$A^\times B = [A, B]. \quad (3)$$

(1) 式は時刻無限大で正しい平衡 (あるいは定常) 状態を与えないことはよく知られているが、部分系間の相互作用が十分弱ければ (1) 式で系の挙動が近似的に記述できるものと信じられている。

そこで我々は厳密に扱えるパラメトリック発振器のモデルに減衰理論を応用し、はた

(4) Rigorous Treatment of the Damping Theory for Coupled Systems in contact with Reservoirs

してそれが本当かどうかを確かめた。くわしくは文献1) にゆずることにして、また結果だけを記す。まず、発振の臨界値 G_{th} が部分系間の相互作用を正しく取入れた場合(P.T)と従来の簡単化による場合(CT)とでは大きなずれが出る。時刻無限大での光子数及びシグナルとアイドラーモードの位相相関の絶対値は、図1(i)(ii)の示すように、部分系間の相互作用の強度 G が小さいときは、PT(実線)とCT(点線)の結果にはそれほど大きなちがいはない。(a, b が光子数, r が位相相関の絶対値を表わす。) とこ

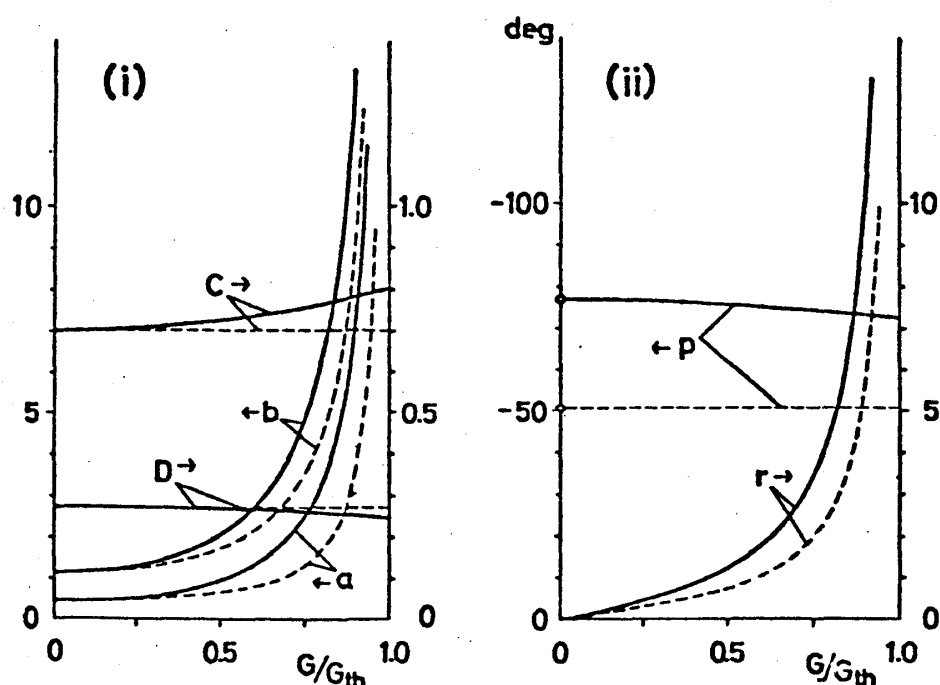


図 1

ろが位相相関の位相(図1(i)の p)は、たとえ G が小さくても PT と CT の差は小さくならずむしろ大きくなっている。また減衰定数の実数部(図1(ii)の C と D)は、CT(点線)では G に依存しないが、PT(実線)では G に依存する。図2(i)(ii)には、 $G = 0.35$ の場合の光子数(a と b)、位相相関の絶対値(r)と位相(p)の時間発展が示してある。臨界値が PT では $G_{th} = 0.418$, CT では $G_{th} = 0.563$ であるため、PT と CT では大きなズレがみられる。なおこれらの図を求めるにあたって、熱浴のスペクトル関数をガウス型に仮定した。(それに関するパラメーターは文献1)を参照のこと。)他に種々の興味深い事があるが、紙面の都合上文献1)をみられたい。

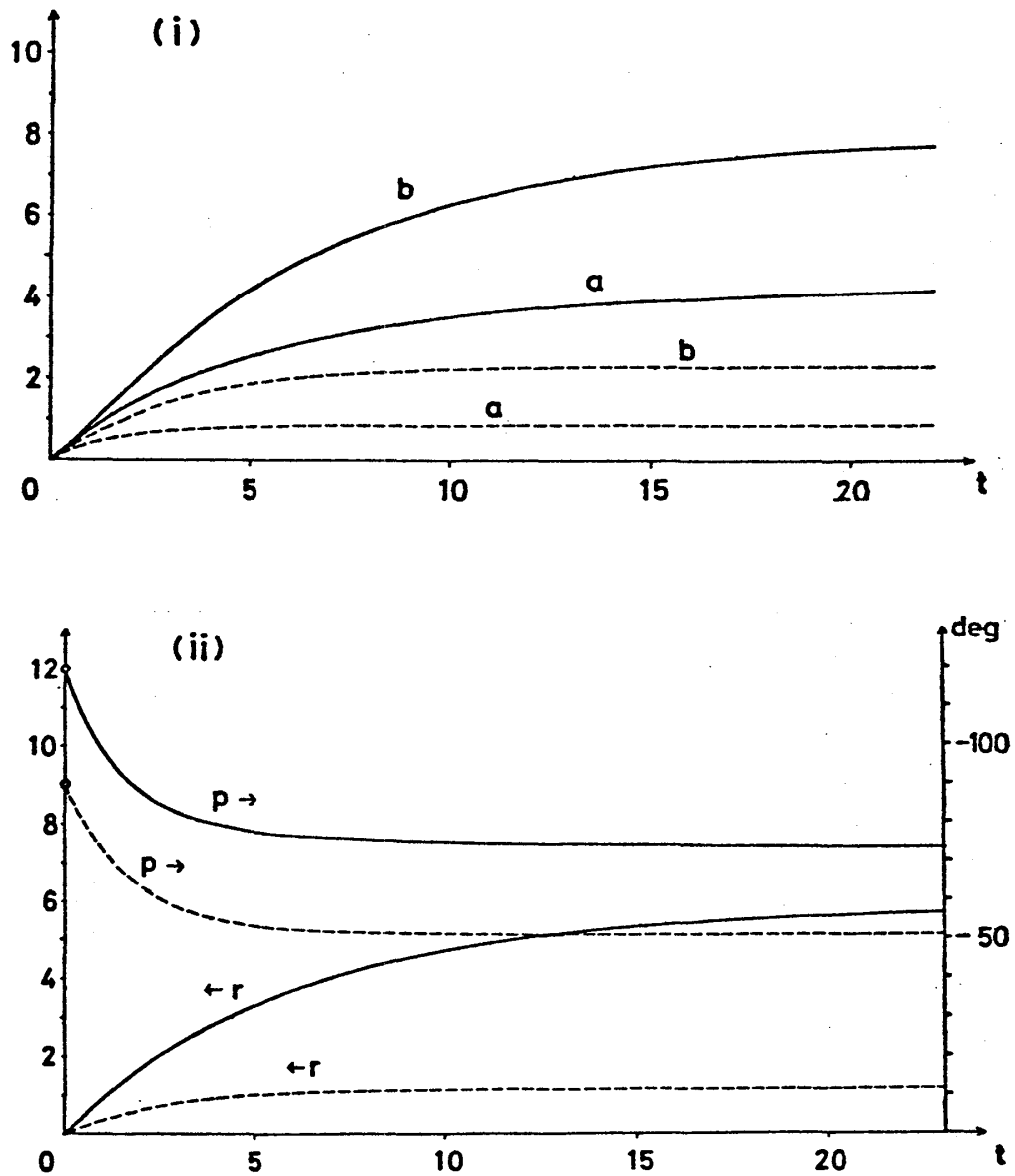


図 2

以上より部分系間の相互作用が十分小さい場合でも物理量によってはCTでは系の挙動が記述できないことがわかったので, レーザー系について原子系と光子場の相互作用による従来のレーザー基礎方程式に対する補正項を求めた。その結果補正項の効果がけっして小さいとは言えない事がわかった。また従来のランジュバン方程式から出発する議論に対する注意も行なった。さらに原子系を消去して光子場に対するホッカー=プランク方程式を臨界値近傍で求め, 発振臨界値及び拡散係数に対する補正を求めた。それ

(4) Rigorous Treatment of the Damping Theory
for Coupled Systems in contact with Reservoirs

らの実験的検証についても示唆した。紙面の都合上これらについては文献 2), 3)を参照のこと。

<文 献>

- 1) T. Arimitsu, Y. Takahashi and F. Shibata, Physica A (1980).
- 2) T. Arimitsu, Thesis (submitted to Univ. of Tokyo 1979. 12).
- 3) T. Arimitsu, to be submitted to Physica A.